

# УПРАВЛЕНИЕ ПАРАМЕТРАМИ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ШТАМПОВКИ ОБКАТЫВАНИЕМ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОТЕКАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Якість виробів, які виготовляються штампуванням обкочуванням, визначається кінематичними параметрами процесу. У статті розглянуті підходи створення пресів з регульованими кінематичними параметрами. Найбільш ефективним є керування кутом нахилу осі активного інструменту. Одночасно досягаються нові технологічні можливості способу. Запропоновані конструктивні схеми механізму обкочування з регулюванням кута нахилу.

Quality of wares which are made stamping with a rolling-off is determined the kinematics parameters of process. In the article approaches of creation of presses are considered with the managed kinematics parameters. Most effective is a management the angle of slope of axis of active instrument. New technological possibilities of method are at the same time arrived at. The structural charts of mechanism of rolling-off with regulation of angle of slope are offered.

Прессы для штамповки с обкатыванием (ШО) представляют собой совокупность двух механизмов: механизма осевого перемещения, выполненного в виде силового гидроцилиндра с гидравлическим приводом и механизма обкатывающих движений активного инструмента в виде специального механического или гидравлического механизма [1, 2].

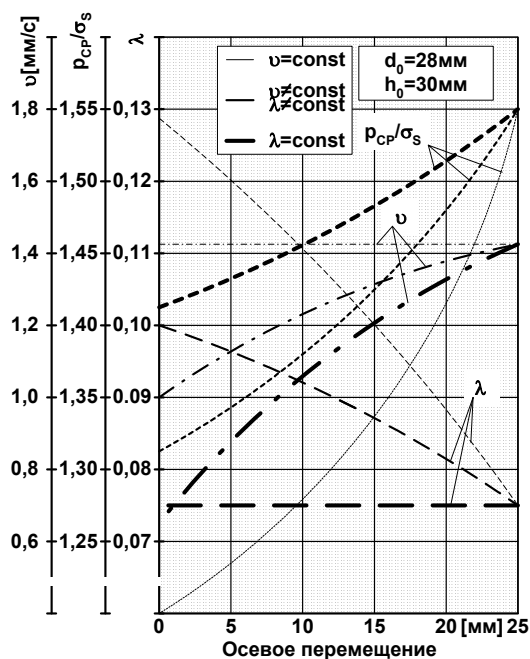


Рис. 1. График изменения коэффициента  $\lambda$ , удельного усилия и скорости от величины осевого перемещения при осадке цилиндрического образца

При использовании в приводе механизма осевого перемещения традиционного насосного привода скорость рабочего перемещения практически постоянна  $v \approx \text{const}$  [3]. Протекание технологической операции характеризуется тем, что значение коэффициента  $\lambda$  падает от максимального, вначале операции, до минимального значения в конце (где:  $\lambda = F_K/F$ ;  $F_K$  – площадь контактного очага деформации;  $F$  – площадь всей поверхности обкатывания). Например, при деформировании заготовки (высота  $h_0 = 30 \text{ мм}$  и диаметр  $d_0 = 28 \text{ мм}$ ) со скоростью  $v = 1,41 \text{ мм/с} = \text{const}$  и подаче на оборот  $S = 0,28 \text{ мм/об} = \text{const}$  для начальной стадии  $\lambda \approx 0,13$ ; при 50% высотной деформации ( $h = 15 \text{ мм}$ ,  $d \approx 40 \text{ мм}$ )  $\lambda = 0,1$ ; для конечной стадии ( $h_K = 6,5 \text{ мм}$ ,  $d_K \approx 60 \text{ мм}$ ) имеем значение  $\lambda \approx 0,08$ . То есть при постоянной подаче коэффициент  $\lambda$  – величина переменная и его значения уменьшаются по ходу процесса, в частности в данном случае значение  $\lambda$  уменьшается в 1,6 раза (рис.1).

Упомянутая закономерность  $\lambda = f(v)$  негативно сказывается на качественных характеристиках технологического процесса, основными из которых являются: накопление неравномерности деформаций в заготовке по высоте; невозможность обработки относительно высоких заготовок  $h/d > 1$ ; попадание параметров процесса при крайних максимальных и минимальных значениях  $\lambda$  в области неэффективных значений; сравнительно низкая производительность и др. Эффективность процесса штамповки обкатыванием существенно повышается в узкой области значений  $\lambda$ , в

которой специфическое воздействие оказывает контактное трение и создается благоприятное напряженно-деформированное состояние [3, 4].

Особо негативное влияние такой закономерности проявляется при обработке относительно высоких заготовок, когда из-за неблагоприятной схемы напряженно-деформированного состояния образуется искажение формы осаживаемой заготовки. В отличие от традиционного осаживания, когда проявляется бочкообразность, при ШО заготовка приобретает грибовидную форму и возникает преждевременное специфическое разрушение [5].

Спрогнозировать обработку с постоянным коэффициентом  $\lambda = \text{const}$  можно при условии переменных значений кинематических параметров процесса, таких как: скорость ( $v$ ), частота нутаций обкатывающего инструмента ( $n$ ), подача ( $S$ ) и угол наклона оси нутации ( $\gamma$ ) (см. рис.1).

Цель статьи – на основании анализа вариантов управления в ходе технологической обработки параметрами оборудования для ШО выявить наиболее приемлемые и эффективные.

Реализовать возможность обработки с постоянным коэффициентом  $\lambda = \text{const}$  можно как за счет механизма осевого перемещения, так и за счет механизма обкатывания (рис.2).



Рис. 2. Варианты возможного управления параметрами процесса ШО с заданным коэффициентом  $\lambda$

Реализация варианта 1.1 (рис.2) для соблюдения заданной закономерности изменения скорости осевого перемещения не является проблематичной по методикам расчетов [6, 7] как для насосного привода. При таком подходе можно достичь ступенчатого управления скоростью. Количество ступеней скорости будет соответствовать количеству насосов с различными характеристиками давления. Например для трехнасосного привода (рис.3,а) ступеней давлений ( $p_1, p_2, p_3$ ) и производительности ( $Q_1, Q_2, Q_3$ ) будет по три. Как видно на рис.3,б достигается переменное значение коэффициента  $\lambda$  в узких пределах его граничных значений  $\Delta\lambda$ .

При использовании нескольких насосов в гидравлическом приводе ступенчатое управление состоит в том, что технологическое усилие постепенно увеличивается за счет роста давления жидкости ( $p_1 < p_2 < p_3$ ), такая же зависимость, как видно из рис.3,б, сохраняется и при выполнении технологических операций ШО. Эффективная работа при высоком КПД от одного приводного двигателя для традиционного пресса заключается в том, что скорость осевого перемещения падает также ступенчато, в соответствии с ростом технологического усилия за счет соответствующих характеристик расходов ( $Q_1 > Q_2 > Q_3$ ). Отличием применения такого подхода для ШО будет то, что скорость осевого перемещения должна ступенчато возрастать ( $Q_1 < Q_2 < Q_3$ ). Гидравлический привод со ступенчатой характеристикой роста технологического усилия и скорости имеет относительно традиционного оборудования низкий КПД и выполнить условие эффективной работы привода - невозможно.

Условием эффективности работы является достижение одинаковой мощности  $N_H$  на всех ступенях работы, т.е.,

$$N_H = p_1 Q_1 = p_2 Q_2 = p_3 Q_3. \quad (1)$$

где:  $p_1, p_2, p_3$  - давление рабочей жидкости на каждой ступени;

$Q_1, Q_2, Q_3$  - соответствующая производительность на каждой ступени работы насоса.

По графику на рис.4  $p_1 < p_2 < p_3$ , тогда из условия (1)  $Q_1 > Q_2 > Q_3$ . Соответствующие скорости осевого перемещения каждой ступени при равенстве площадей всех плунжеров насоса определяется как,

$$v'_1 = \frac{3F * h_H n}{F_P} > v'_2 = \frac{2F * h_H n}{F_P} > v'_3 = \frac{F * h_H n}{F_P}, \quad (2)$$

где:  $h_H$  - ход плунжера насоса;

$n$  - частота вращения кривошипного вала насоса (остальные обозначения на рис.3).

Из тех же соображений неэффективным является и использование гидросхем с несколькими рабочими гидроцилиндрами или насосом управляемой производительности (варианты 1.2, 1.3 рис.2).

По графику на рис.3,б  $v_1 < v_2 < v_3$ , что противоречит условию эффективной работы гидросхемы (2). Работа насосного привода в условиях, когда по ходу осевого перемещения растут давление и скорость осевого перемещения, вписывается в режим работы насосно-аккумуляторного привода в период разгона подвижных частей (вариант 1.4 рис.2).

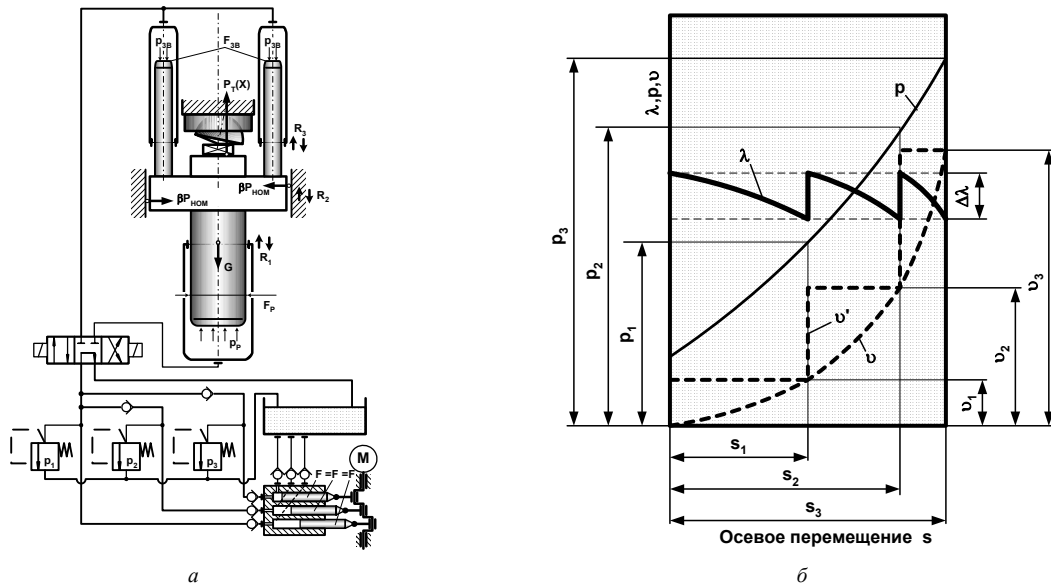


Рис. 3. Гидравлическая схема с 3-х насосным (плунжерным) гидроприводом машины для ШО и соответствующие графики зависимости коэффициента  $\lambda$ , удельного усилия и скорости деформирования от осевого перемещения (б)

Применение в качестве гидравлического привода насосно-аккумуляторной станции имеет такие же недостатки по энергетике, но имеет и свои положительные особенности. Полезно то, что насосно-аккумуляторный привод обеспечивает значительные расходы рабочей жидкости практически при постоянном давлении, что позволяет, при определенном запасе максимального усилия, поддерживать необходимые теоретические зависимости скорости. Можно определить критерии, при которых график изменения скорости осевого перемещения максимально приближается к теоретическому с постоянным коэффициентом  $\lambda$ .

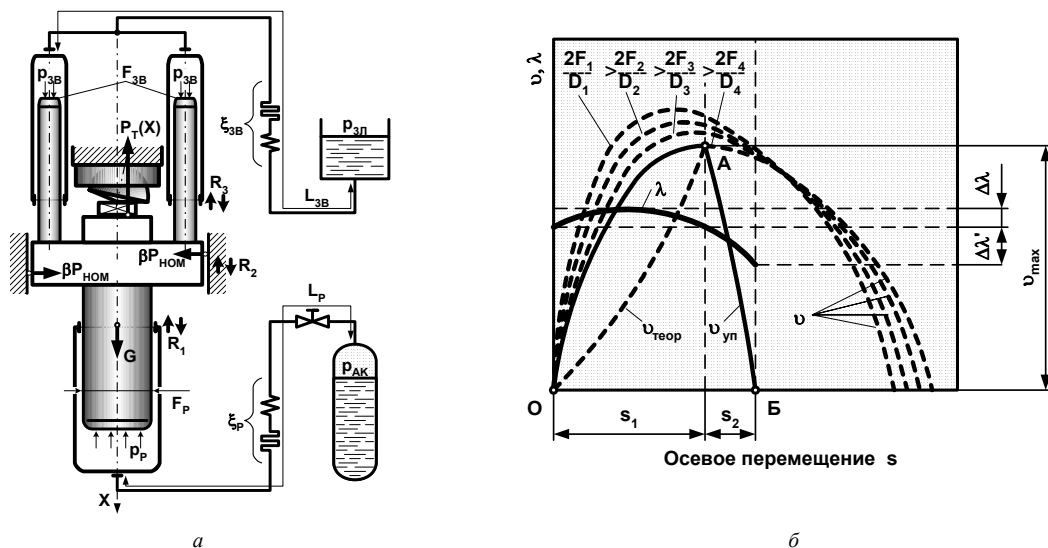


Рис. 4. Гидравлическая схема машины для ШО с насосно-аккумуляторным приводом (а) и графики зависимости коэффициента  $\lambda$  и скорости деформирования от осевого перемещения (б)

Уравнение равновесия при рабочем ходе (уравнение Д'Аламбера) подвижных частей пресса для ШО после преобразований и группировки, относительно переменных с выделением постоянных коэффициентов  $D$ ,  $F$ ,  $L$  приобретает вид аналогичный [6, 7], но с другими значениями соответствующих коэффициентов,

$$D \frac{dv}{dt} + F * v^2 - L + k * s = 0, \quad (3)$$

где:  $k = (P_{max} - P_0)/s$ ;  
 $P_{max}$  - максимальное усилие технологической операции;  
 $P_0$  - начальное усилие.  
 $s$  - осевое перемещение.

Физический смысл коэффициентов заключается в том, что  $D$  зависит от длины трубопроводов,  $F$  — характеризует гидравлические сопротивления, с ростом коэффициента  $L$  возрастает скорость устойчивого движения.

После замены  $\frac{dv}{dt} = \frac{1}{2} \frac{d}{ds}(v^2)$ , имеем из (3)

$$\frac{1}{2} D \frac{d}{ds}(v^2) + F \cdot v^2 - L + k \cdot s = 0, \quad (4)$$

После интегрирования и выполнения условий, при  $t=0$   $s=0$  и  $v=0$ , получим из (4) выражение для нахождения скорости [7, 8]

$$v = \sqrt{\left( \frac{D \cdot k}{2F^2} + \frac{L}{F} \right) \left[ 1 - \exp\left( -2 \frac{F}{D} s \right) - \frac{k}{F} s \right]}. \quad (5)$$

То есть имеет место неустановившееся движение с ростом скорости от нуля до максимума и с падением до нуля при постоянном росте усилия деформирования.

Пренебрегая в (5) составляющей  $\exp(-2s \cdot F/D)$  по отношению к единице получим

$$v = \sqrt{\frac{D \cdot k + 2FL}{2F^2} - \frac{k}{F} s}. \quad (6)$$

В зависимости от составляющей  $2F/D$  в (6) можно построить группу кривых, характеризующих  $v=f(s)$  (рис.4,б). Т.е. путем задания соотношения  $2F/D$  можно обеспечить соответствие необходимой теоретической скорости деформирования на участке  $s_1$ , при которой обеспечивается обработка с коэффициентом  $\lambda$ , имеющим незначительное отклонение  $\Delta\lambda$ , поскольку  $v_{теор} \approx v$ . Для работы пресса в заданных пределах надо обеспечить условие запаса по усилию. Снижение скорости деформирования соответствует участку  $s_2$ , когда минимальные окончательные деформации протекают при жестком упоре движущихся частей пресса. Это сопровождается резким ростом сопротивления перемещению и падением скорости деформирования с изменением коэффициента  $\lambda$  на величину  $\Delta\lambda'$ . Таким образом, изменение скорости деформирования будет проходить по сплошной кривой О-А-В (рис.4,б).

Видится перспективным регулирование значения коэффициента  $\lambda$  путем изменения частоты колебаний обкатывающих движений активного инструмента (вариант 2 рис.2). Такая возможность основана на применении современных систем с асинхронным приводным двигателем, который управляется за счет регулировки частотой переменного тока.

Максимальный технологический эффект достигается при управлении коэффициентом  $\lambda$  за счет изменения угла наклона активного инструмента ( $\gamma$ ) (вариант 3 рис.2).

Оборудование для ШО, которое обеспечивает протекание процесса при эффективных параметрах, может быть создано по схемам [8, 9]. В нем реализован принцип работы с переменным углом наклона оси нутаций активного инструмента -  $\gamma$ .

На рис.5 предоставлена конструктивная схема устройства, обеспечивающая управление углом наклона активного инструмента [9]. В полости 1 эксцентрикового ротора 2 расположена одна из двух цапф 3 подвижного корпуса, охватывающего подшипник 4, который сам определяет место своего расположения. Подшипник 4

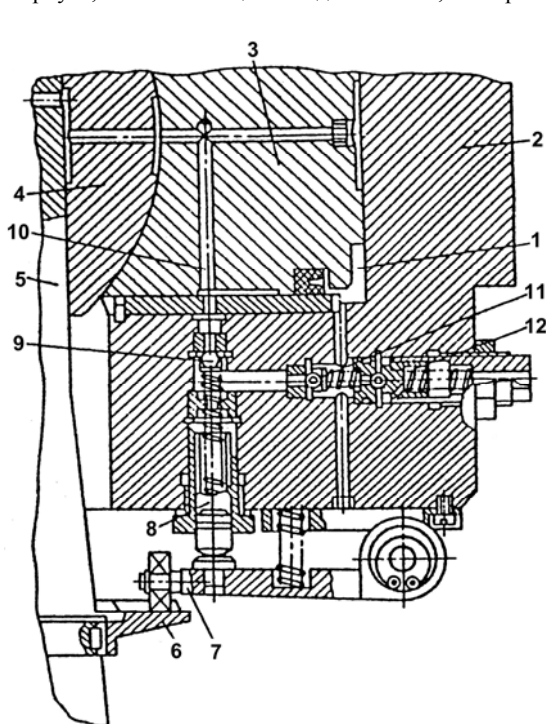


Рис. 5. Схема устройства, обеспечивающего управление технологическими параметрами процесса за счет задания угла наклона активного инструмента

расположен на обратном конце прессователя 5. В центральной части прессователя 5 закреплен кулачок 6, на который опирается подпружиненный рычаг 7, шарнирно связанный с эксцентриковым ротором 2. В роторе 2 смонтирован плунжерный насос 8, плунжер которого приводится в действие рычагом 7. Насос 8 соединен на входе через всасывающий клапан 9 с сетью 10 системы смазки. Выход насоса 8 в канал нагнетания и нагнетающий клапан 11 соединены с полостью 1 и предохранительным клапаном 12.

Устройство работает следующим образом (рис.5). В исходном состоянии прессователь 5 расположен вертикально, то есть его ось совмещена с продольной осью устройства. При вращении эксцентрикового ротора 2 относительно прессователя 5 кулачок 6 действует через рычаг 7 на плунжер 8 насоса. Через всасывающий клапан 9 рабочая жидкость из системы смазки 10 попадает в насос. Далее, через нагнетающий клапан 11 жидкость поступает в полость 1 и вызывает перемещение цапфы 3 в сторону увеличения угла наклона  $\gamma$ . Давление рабочей жидкости в полости 1 повышается до давления, на который налажен предохранительный клапан 12, через который сливается лишняя рабочая жидкость. Клапан 12 налаживается на давление, соответствующее наибольшему допустимому сечению прессователя 5. При повышении технологического усилия цапфа 3 топится в полость 1, из которой выдавливается избыток лишней рабочей жидкости через предохранительный клапан 12. Угол

наклона оси прессователя 5 уменьшится, что в свою очередь вызывает уменьшение эксцентриситета приложения технологического усилия и изгибающего момента на прессователь 5. Т.е. пройдет автоматическое выравнивание допустимой нагрузки за счет изменения наклона активного инструмента.

Работа механизма обкатывания может проходить по двум сценариям: - с соблюдением постоянного усилия деформирования (как описано выше); - с постоянным коэффициентом  $\lambda$ . Оба подхода реализуются, например жестким программным путем - заданием профиля кулачка 6, который соответствует условиям протекания технологической операции.

#### **Выводы.**

1. Определена необходимость и возможность работы технологического оборудования для ШО с кинематическими параметрами, обеспечивающими повышение технологических возможностей процесса.
2. Проведенный анализ конструктивных схем такого оборудования и определены целесообразные направления его реализации.
3. Разработаны конструкции механизмов обкатывания, в которых возможно управление технологическими характеристиками процесса ШО.

#### **Список литературы.**

1. Марциняк З. Холодная объемная штамповка методом обкатки // З. Марциняк; Кузнечно-штамповочное производство. 1970. - №9. - С. 18-20.
2. Кривда Л.Т. Теорія і практика штампування обкочуванням: (Монографія) / Л.Т.Кривда. - Київ. 1998. - 179 с.
3. Гожій С.П. Знаходження роботи контактних сил тертя при штампуванні обкочуванням // С.П. Гожій; Вісник двигунобудування. - Запоріжжя, ОАО "Мотор-Січ". 2006. - № 4. - С. 108-111.
4. Гожій С.П. Особливості руйнування деталей при виконанні операцій штампування обкочуванням // С.П. Гожій; Наукові вісті Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». 2007. - № 1(51). - С. 58-65.
5. Гожій С.П. Модель деформацій при осаджуванні обкочуванням високого циліндричного зразка // С.П. Гожій; Машинознавство, 2009. - №7 (145). - С. 34-37.
6. Банкетов А.Н. Кузнечно-штамповочное оборудование. Прессы. (Учебник) / А.Н. Банкетов, Ю.А. Бочаров, С. Добринский и др.; - Киев.: Вища школа, - 1981. 576 с.
7. Живов Л.И. Кузнечно-штамповочное оборудование. (Учебник) / Л.И. Живов, А.Г. Овчинников; - М.: Машиностроение, - 1982. 376 с.
8. Пшенишнюк А.С. Регулирование угла наклона инструмента у прессов для штамповки обкатыванием. // А.С. Пшенишнюк, Л.Т. Кривда, С.П. Гожій; Вестник Киевского политехнического института. Машиностроение. - 1993. Вып. № 30. - С. 62-67.
9. Сферодвижный механизм: А. с. СССР № 1655624. МКИ В21D37/12 / Л.Т. Кривда, С.П. Гожій - №4622357/27; Заявл. 20.12.88; Опубл. 15.06.91, Бюл. №22. - 6 с.: ил.